ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01399v1

杜湖杂交 F1 代母羊妊娠期能量和蛋白质维持需要量

马铁伟　聂海涛　张　浩　纪　宇　王　震　邓凯平　王　锋*

（南京农业大学, 江苏省肉羊产业工程技术中心，南京 210095）

摘　要：本研究旨在确定杜泊羊×湖羊（杜湖）杂交 F1 代母羊妊娠期能量和蛋白质维持需要量，为该杂交组合肉羊饲粮配制提供较为合理的能量和蛋白质需要标准。分为饲养试验、消化代谢试验和呼吸测热试验。选取 15 只月龄（9 月龄）、体重[（43.34±1.37）kg]相近的母羊，经同期发情、自由交配后随机分为自由采食组、70%自由采食量、50%自由采食量组，每组 5 只母羊。在妊娠期 40、100、130 d 分别采用全收粪法收集粪尿，同时进行呼吸测热试验，计算得到母羊在不同妊娠时期氮、能量的表观代谢参数，依据消化代谢试验和呼吸测热试验结果分别利用沉积氮和食入氮、产热量的对数和代谢能采食量建立异速回归方程，最终得到该杂交组合在妊娠期 40、100、130 d 时维持净氮、维持净能、维持代谢能需要量。结果表明：1）氮表观消化率在妊娠 40、100、130 d 时分别为 56.16%～62.24%、60.43%～65.47%、58.79%～62.01%。2）总能表观消化率在妊娠 40、100、130 d 分别为 51.18%～64.25%、60.86%～66.17%、63.20%～67.36%。3）在母羊妊娠 40、100、130 d 维持净氮分别为 287.9、301.3、430.7 mg/(kg $W^{0.75}$•d)；维持净能分别为 194.01、244.59、256.08 kJ/(kg $W^{0.75}$ •d)；维持代谢能分别为 283.18、412.26、468.56 kJ/(kg $W^{0.75}$•d)。本研究最终得到了杜湖杂交 F1 代母羊妊娠期能量、蛋白质需要量指标, 包括维持净能、维持代谢能、维持净氮。

关键词：妊娠期；杜湖杂交 F1 代母羊；能量；蛋白质；需要量

中图分类号：S826

营养需要量标准是对动物营养和饲料科学领域科学研究成果的概括和总结，能够高度反映动物在生存和生产等生理活动状态下对营养物质的客观要求[1]。近些年来，我国肉羊产业发展很快，而合理准确的营养需要量标准对肉羊饲养有着十分重要的指导意义。早在 20 世纪 50 年代，肉羊产业较为发达的国家就已启动了营养需要量相关研究工作，其中以

收稿日期：2016-03-01
基金项目：国家现代肉羊产业体系项目(CARS-39)
作者简介：马铁伟（1990-），河北廊坊人，男，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail：641900119@qq.com
*通信作者：王　锋，教授，博士生导师，E-mail：　caeet@njau.edu.cn

英国的 AFRC[2]、澳大利亚的 CSIRO[3-4]和美国的 NRC[5-6]为代表的营养需要量评价机构针对各国肉羊生产特点分别制订了营养需要量标准，并多次更新和完善已出台的标准和指标。我国开展羊营养需要量的研究起步比较晚。1988 年，杨诗兴等[7]通过试验获得湖羊羔羊吮乳期和育成期，母羊妊娠期、泌乳期以及配种公羊的能量、蛋白质需要量；1993 年，张崇玉等[8]研究了青山种公羊能量、蛋白质需要量。但相关羊的营养标准研究与国外和国内其他畜种相比还有差距，而且我国地域辽阔，饲草资源丰富，羊品种繁多，完全套用国外标准缺少科学性和实用性[9]，特别是近些年来，随着我国肉羊产业规模化、集约化饲养模式发展速度不断加快，营养需要量研究领域相对滞后的问题日益凸显。湖羊主要分布于江浙等太湖流域，多胎但生长较慢，杜泊羊生长快但繁殖率低。因此，很多地方利用这一杂交组合母羊继续繁殖后代，但是杜泊羊×湖羊（杜湖）杂交母羊妊娠期营养需要量研究尚未见报道。由于缺乏相应的营养指标, 只能参照国外的营养标准设计饲粮配方, 从而可能会引起营养供给不足影响胎儿发育，或者过剩造成饲料资源浪费等问题[10]。本研究旨在研究确定杜湖杂交 F1 代母羊妊娠期的能量、蛋白质需要量，为我国肉用绵羊营养需要量参数的准确测定和饲养标准的合理制订提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选取健康9月龄杜湖杂交F1代母羊15只，体重（43.34±1.37） kg。

1.2 试验饲粮

试验期间饲喂全混合颗粒饲料，参考NRC（2007）体成熟为0.7的妊娠母羊妊娠单羔和妊娠双羔在前期和后期营养需要的平均值配制。试验饲粮组成及营养水平见表1。

表1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experiment diets（air-dry basis） %

项目 Items	含量 Content	
	妊娠前期 Early-pregnancy	妊娠后期 Late-pregnancy
原料 Ingredients		
豆秸 Soybean straw	50.00	45.00
玉米 Corn	35.22	31.23
豆粕 Soybean meal	12.00	20.00
碳酸钙 $CaCO_3$	0.41	0.54
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.57	2.43
食盐 NaCl	0.50	0.50

chinaXiv:201711.01399v1

预混料 Premix1)	0.30	0.30
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)		
代谢能 ME/（MJ/kg）	8.99	9.63
干物质 Dry matter	90.62	91.43
有机物 Organic matter	90.07	90.22
粗蛋白质 Crude protein	9.86	13.28
粗脂肪 Ether extract	4.27	4.59
酸性洗涤纤维 ADF	21.07	18.06
中性洗涤纤维 NDF	36.39	31.68

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：$FeSO_4 \cdot H_2O$ 120 mg，$MnSO_4 \cdot H_2O$ 190 mg，$ZnSO_4 \cdot H_2O$ 190 mg，$CuSO_4$ 80 mg，Se 0.05 mg，Co 0.25 mg，I 2.5 mg，复合维生素 compound vitamin 0.2 g，2%莫能霉素 2% monensin 0.15 g，微生物制剂 microbial preparation 0.25 g。

2)代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value and others were measured values.

1.3 试验仪器及设备

羊用代谢笼、呼吸测热室、INNOVA-1412 气体分析仪、FW-100 饲料粉碎机、电子称、10%硫酸、自封袋、塑料桶、FOSS 全自动凯氏定氮仪、TYHW-V 汉显全自动量热仪。

1.4 饲养管理

将选取的 15 只妊娠母羊，随机分为自由采食（Ad）组、70%自由采食（70%Ad）组、50%自由采食（50%Ad）组，每组 5 只羊，单栏饲养。每天 08:00、16:00 饲喂，自由饮水。每天早晨饲喂前清除 Ad 组食槽的剩料并称重，饲喂量根据前 1 天羊只的采食量进行调整，确保食槽内剩料在 10%左右，根据 Ad 组的采食量，确定另外 2 个限饲组的饲喂量。

1.5 消化代谢试验

将 3 组的 15 只妊娠羊分别在妊娠期 40、100、130 d 转至消化代谢笼进行消化代谢试验，每次消化代谢试验均设置 7 d 的预试期，10 d 的正式期。每天记录并收集每只羊的饲喂量和剩料量。采用全收粪法收集粪尿，准确称量，每只羊取每天排粪量的 10%，随后将 10 d 的样品混合均匀。用盛有 100 mL 10% H_2SO_4 的容器收集尿液，滤网除去杂质后用 1 L 量筒准确称量体积，每只羊取 30 mL 尿样，随后将 10 d 的样品混合均匀。样品收集好后放入-20 ℃冰箱中冷冻保存，以备测定。

1.6 呼吸测热试验

呼吸测热试验与消化代谢试验同时进行，采用开路式呼吸系统测定气体排出量，包括甲

chinaXiv:201711.01399v1

chinaXiv:201711.01399v1

烷、二氧化碳、一氧化碳、氨气等。在消化代谢试验的第 1、3、5、7、9 天将试验羊分别放入 3 个呼吸测热室内，每批 3 只羊，每组 1 只羊，试验羊只可以自由采食及饮水。在呼吸测热室适应 1 d 后，测定第 2 天气体排放量。羊只在进入和离开呼吸测热室时分别进行称重，2 数值的平均值作为气体代谢试验的测热体重[11]。

1.7　能量计算和测定方法

尿能测定用定量滤纸测定能值[12]；食入碳、粪碳：Vario EL Ⅲ元素分析仪测定，尿碳：取样 0.5 mL 尿液干燥后进行碳元素测定，换算为尿碳日排出量。

甲烷能（MJ/d）=甲烷日排出量（L/d）×39.54[13]；

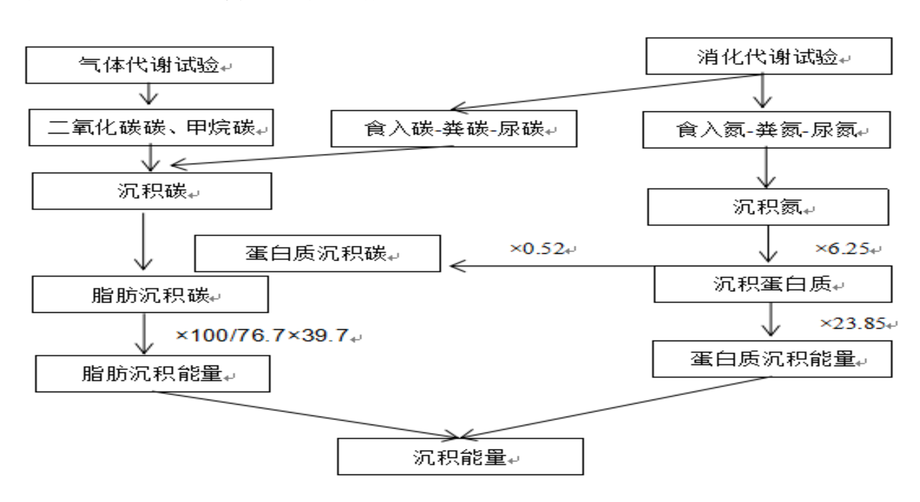
二氧化碳碳（kg/d）=二氧化碳日排出量（L/d）×19.6×0.273；

甲烷碳（kg/d）=甲烷日排出量（L/d）×0.75×0.717[14]。

1.8　能量和蛋白质需要量计算方法

1.8.1　碳氮平衡法

动物机体主要以脂肪和蛋白质的形式沉积能量[15]。蛋白质与脂肪以碳和氮为特征，借助碳氮 2 种元素的食入和排出，掌握其在动物机体内的沉积和运用。通过消化代谢试验和呼吸测热试验相结合，计算出动物机体在试验期间的采食和排出的碳氮，从而计算动物机体蛋白质和脂肪的沉积量。计算方法如图所示[16]。



1.8.2　维持净氮需要量的计算

根据消化代谢试验，建立沉积氮与食入氮之间的线性回归关系：

$$RN = a + b \times NI。$$

式中：*RN* 为沉积氮；*NI* 为食入氮；截距 *a* 即为维持净氮需要量（内源氮损失，即内源

尿氮＋代谢粪氮），所得结果乘以 6.25 即为维持净蛋白质需要量[17]。

1.8.3 维持净能需要量的计算

产热量的数值用代谢能采食量与能量沉积的差值计算得到。根据消化代谢试验和气体代谢试验，建立产热量的对数与代谢能采食量之间的线性回归关系：

$$\lg HP=a+b\times MEI。$$

式中：*HP* 为产热量；*MEI* 为代谢能采食量。当 *MEI*=0 时，*HP* 的值即为母羊维持净能需要量。通过上述公式进行迭代运算，当 *HP*=*MEI* 时，*MEI* 的值即为母羊维持代谢能需要量[18]。

1.9 数据处理与统计分析

利用 Excel 进行初步数据统计和 SPSS 19.0 对试验数据进行单因素方差分析，并采用 Duncan 氏法进行多重比较，试验结果用平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 妊娠母羊氮代谢

表 2 为不同饲养水平的母羊分别在妊娠 40、100、130 d 时氮的消化代谢变化情况。3 组试验羊的食入氮、粪氮差异极显著（$P<0.01$），并随着饲喂水平的降低而降低；随着饲喂量水平的降低，尿氮、吸收氮均降低，其中妊娠 40 d，Ad 组试验羊显著高于 70%Ad 组和 50%Ad 组（$P<0.05$），但限饲组间差异不显著（$P>0.05$），妊娠 100 d 3 组试验羊间均差异显著（$P<0.05$），妊娠 130 d，Ad 组显著高于 70%Ad 组、50%Ad 组（$P<0.05$）；妊娠 40 d，3 组试验羊的氮表观消化率随着饲喂水平的降低而显著上升（$P<0.05$）；在妊娠 100、130 d，沉积氮/食入氮、沉积氮/吸收氮随着饲喂水平的降低而降低，3 组间差异不显著（$P>0.05$）；妊娠 40、100、130 d 氮表观消化率分别为 56.16%～62.24%、60.43%～65.47%、58.79%～62.01%。

表 2 不同饲喂水平对妊娠母羊氮代谢的影响

Table 2 Effects of different feeding levels on N apparent digestibility of pregnant ewes

项目 Items	组别 Groups		
	Ad	70%Ad	50%Ad
妊娠 40 d 40 d of pregnancy			
食入氮 NI/(g/d)	25.73±0.87^{A}	18.59±0.16^{B}	14.30±0.29^{C}
粪氮 FN/(g/d)	11.77±0.55^{A}	8.64±0.69^{B}	5.41±0.41^{C}
尿氮 UN/(g/d)	9.44±0.26^{a}	6.81±1.12^{b}	5.29±0.27^{b}

chinaXiv:201711.01399v1

吸收氮 DN/(g/d)	13.96±0.54^{a}	9.94±0.49^{b}	8.88±0.41^{b}
氮表观消化率 N apparent digestibility/%	56.16±1.55^{c}	59.56±0.96^{b}	62.24±2.06^{a}
沉积氮 RN/(g/d)	4.52±0.75	3.78±0.28	3.59±0.49
沉积氮/食入氮 RN/IN/%	17.57±2.92	20.35±1.06	25.11±1.93
沉积氮/吸收氮 RN/DN/%	32.07±4.19	38.21±2.32	36.23±1.70
妊娠 100 d 100 d of pregnancy			
食入氮 NI/(g/d)	31.26±1.89^{A}	21.64±0.16^{B}	15.87±0.29^{C}
粪氮 FN/(g/d)	12.37±1.54^{A}	7.61±0.48^{B}	5.47±0.07^{C}
尿氮 UN/(g/d)	14.03±0.47^{a}	11.18±0.41^{b}	8.60±0.60^{c}
吸收氮 DN/(g/d)	18.89±0.76^{a}	14.02±0.48^{b}	10.39±0.07^{c}
氮表观消化率 N apparent digestibility/%	60.43±1.35^{b}	64.83±1.00^{a}	65.47±0.68^{a}
沉积氮 RN/(g/d)	4.87±0.58^{a}	2.84±0.81^{b}	1.79±0.63^{b}
沉积氮/食入氮 RN/IN/%	15.56±1.23	13.12±3.75	11.27±3.94
沉积氮/吸收氮 RN/DN/%	26.08±2.08	21.18±5.10	17.11±4.59
妊娠 130 d 130 d of pregnancy			
食入氮 NI/(g/d)	29.63±1.80^{A}	22.73±0.00^{B}	16.35±0.14^{C}
粪氮 FN/(g/d)	11.93±1.01^{A}	9.37±0.58^{B}	6.22±0.32^{C}
尿氮 UN/(g/d)	14.11±0.26^{a}	10.91±1.11^{b}	8.85±0.50^{b}
吸收氮 DN/(g/d)	17.41±0.26^{a}	13.36±0.58^{b}	10.14±0.32^{c}
氮表观消化率 N apparent digestibility/%	59.51±1.53	58.79±2.55	62.01±1.94
沉积氮 RN/(g/d)	3.59±1.07	2.45±1.08	1.14±0.51
沉积氮/食入氮 RN/IN/%	16.23±2.92	11.99±3.75	11.23±3.94
沉积氮/吸收氮 RN/DN/%	19.61±4.68	18.25±3.96	-12.63±4.80

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P＞0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 妊娠母羊维持净氮需要量

表 3 表示妊娠母羊在 40、100、130 d 食入氮和沉积氮的关系。母羊在妊娠 40、100、130 d 时维持净氮需要量分别为 287.9、301.3、430.7 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，换算后最终得到其维持净蛋白质需要量分别为 1.799、1.883、2.692 g/(kg $W^{0.75}$·d)。

表 3 妊娠母羊维持净氮需要量预测方程

Table 3 Predicted formulations for net nitrogen requirement of pregnant ewes

项目 Items	方程 Equations	R^2	n	P 值 P-value
妊娠 40 d 40 d of pregnancy	RN=（0.465±0.058）NI-（0.287±0.086）	0.777	12	<0.000 1

chinaXiv:201711.01399v1

妊娠 100 d 100 d of pregnancy	*RN*=（0.374±0.072）*NI*-（0.301±0.096）	0.796	14	<0.000 1
妊娠 130 d 130 d of pregnancy	*RN*=（0.402±0.076）*NI*-（0.430±0.106）	0.780	14	<0.000 1

2.3 妊娠母羊能量消化代谢

表 4 为不同饲喂水平的母羊分别在妊娠 40、100、130 d 的能量消化代谢变化情况。食入总能、粪能、尿能、甲烷能、消化能随着饲喂水平的降低而降低，3 组间在 40、100、130 d 食入总能和粪能间差异极显著（$P<0.01$），Ad 组尿能显著高于 70%Ad 组和 50%Ad 组（$P<0.05$）；总能表观消化率随着饲喂水平的降低有升高的趋势，妊娠 40、100、130 d 总能表观消化率分别为 51.18%～64.25%、60.86%～66.17%、63.20%～67.36%。

表 4 不同饲喂水平对妊娠母羊能量代谢的影响

Table 4 Effects of different feeding levels on energy metabolism of pregnant ewes

项目 Items	组别 Groups		
	Ad	70%Ad	50%Ad
妊娠 40 d 40 d of pregnancy			
食入总能 GE intake/(MJ/d)	28.71±1.09^{A}	20.73±1.27^{B}	15.95±1.02^{C}
粪能 FE/(MJ/d)	14.02±0.47^{A}	8.98±0.36^{B}	5.70±0.31^{C}
尿能 UE/(MJ/d)	0.89±0.01^{a}	0.82±0.02^{b}	0.78±0.01^{b}
甲烷能 CH4-E/(MJ/d)	2.13±0.03^{a}	1.88±0.06^{b}	1.75±0.02^{c}
消化能 DE/(MJ/d)	14.69±0.48^{a}	11.75±0.36^{b}	10.25±0.31^{b}
总能表观消化率 GE apparent digestibility/%	51.18±1.67^{b}	56.69±1.73^{b}	64.25±1.96^{a}
妊娠 100 d 100 d of pregnancy			
食入总能 GE intake/(MJ/d)	33.93±1.36^{A}	24.59±0.91^{B}	18.03±1.75^{C}
粪能 FE/(MJ/d)	13.31±1.32^{A}	8.56±0.53^{B}	6.10±0.13^{C}
尿能 UE/(MJ/d)	0.95±0.02^{a}	0.84±0.07^{b}	0.80±0.05^{b}
甲烷能 CH4-E/(MJ/d)	2.92±0.04^{a}	2.68±0.05^{b}	2.59±0.04^{b}
消化能 DE/(MJ/d)	20.62±2.46^{a}	16.03±1.18^{b}	11.93±0.13^{c}
总能表观消化率 GE apparent digestibility/%	60.86±3.27^{b}	65.19±2.15^{ab}	66.17±0.73^{a}
妊娠 130 d 130 d of pregnancy			
食入总能 GE intake/(MJ/d)	25.01±1.52^{A}	19.18±0.89^{B}	13.80±0.68^{C}
粪能 FE/(MJ/d)	9.21±0.63^{A}	6.26±0.13^{B}	4.56±0.17^{C}
尿能 UE/(MJ/d)	0.93±0.03^{a}	0.78±0.01^{b}	0.69±0.01^{c}
甲烷能 CH4-E/(MJ/d)	2.81±0.04^{a}	2.47±0.03^{b}	2.13±0.03^{c}
消化能 DE/(MJ/d)	15.80±0.96^{a}	12.92±0.13^{b}	9.25±0.17^{c}
总能表观消化率 GE apparent digestibility/%	63.20±0.93	67.36±0.69	66.98±1.24

表 5 为不同饲喂水平的母羊分别在妊娠 40、100、130 d 的碳消化代谢变化情况。食入碳、粪碳、二氧化碳碳均随着饲喂水平的降低而降低，3 组试验羊间上述指标差异显著（$P<0.05$）；随着饲喂水平的降低，尿碳有所降低，妊娠 100、130 d Ad 组的尿碳排出量显

chinaXiv:201711.01399v1

chinaXiv:201711.01399v1

著高于 70%AD 组与 50%AD 组（P<0.05），2 个限饲组间差异不显著（P>0.05）；在妊娠 40、100 d，沉积碳随着饲喂水平的降低而降低，其中 Ad 组最高，50%Ad 组最低。碳表观消化率随着饲喂水平的降低而升高，3 组间差异显著或极显著（P<0.05 或 P<0.01），妊娠 40、100、130 d 碳表观消化率分别为 54.01%～58.26%、50.96%～71.61%、56.94%～75.06%。

表 5　不同饲喂水平对妊娠母羊碳代谢的影响

Table 5　Effects of different feeding levels on C apparent digestibility of pregnant ewes

项目 Item	组别 Groups		
	Ad	70%Ad	50%Ad
妊娠 40 d 40 d of pregnancy			
食入碳 C intake/(g/d)	617.07±8.97^{a}	445.66±6.65^{b}	342.82±6.73^{c}
粪碳 Fecal C/(g/d)	283.81±3.71^{a}	178.15±3.81^{b}	108.69±6.07^{c}
尿碳 Urinary C/(g/d)	23.04±2.13^{a}	21.08±0.79^{a}	18.25±0.69^{b}
二氧化碳碳 CO_2-C/(g/d)	205.43±4.19^{a}	180.44±2.14^{b}	164.41±3.21^{c}
甲烷碳 CH_4-C/(g/d)	28.53±0.35^{a}	25.15±0.36^{b}	23.49±0.28^{c}
沉积碳 Retained C/(g/d)	76.25±7.51^{a}	40.83±3.27^{b}	27.97±1.00^{c}
碳表观消化率 C apparent digestibility/%	54.01±0.60^{c}	60.02±0.86^{b}	68.26±0.46^{a}
妊娠 100 d 100 d of pregnancy			
食入碳 C intake/(g/d)	630.71±10.56^{a}	501.40±3.66^{b}	367.69±7.43^{c}
粪碳 Fecal C/(g/d)	309.72±17.52^{a}	190.09±2.04^{b}	103.85±4.15^{c}
尿碳 Urinary C/(g/d)	25.04±0.61^{a}	20.09±0.46^{b}	18.88±1.11^{b}
二氧化碳碳 CO_2-C/(g/d)	241.73±3.13^{a}	220.29±4.26^{b}	199.53±3.10^{c}
甲烷碳 CH_4-C/(g/d)	39.14±0.53^{a}	35.89±0.71^{b}	34.66±0.59^{b}
沉积碳 Retained C/(g/d)	20.48±1.09^{a}	15.69±1.67^{b}	13.57±1.39^{b}
碳表观消化率 C apparent digestibility/%	50.96±1.41^{C}	62.09±0.41^{B}	71.76±1.13^{A}
妊娠 130 d 130 d of pregnancy			
食入碳 C intake/(g/d)	537.37±9.45^{a}	409.71±6.43^{b}	306.34±4.93^{c}
粪碳 Fecal C/(g/d)	238.57±8.41^{a}	127.31±5.83^{b}	76.39±2.28^{c}
尿碳 Urinary C/(g/d)	23.97±1.09^{a}	19.86±0.46^{b}	18.68±0.66^{b}
二氧化碳碳 CO_2-C/(g/d)	232.24±3.30^{a}	210.82±2.27^{b}	172.68±2.42^{c}
甲烷碳 CH_4-C/(g/d)	37.60±0.46^{a}	33.05±0.38^{b}	28.58±0.45^{c}
沉积碳 Retained C/(g/d)	11.98±1.90^{b}	18.66±1.19^{a}	12.20±1.47^{b}
碳表观消化率 C apparent digestibility/%	56.94±1.22^{C}	68.92±0.64^{B}	75.06±0.74^{A}

2.4　妊娠母羊维持能量需要量

表 6 为妊娠期母羊分别在 40、100、130 d 维持净能需要量预测方程。表 7 为妊娠期母羊分别在 40、100、130 d 维持净能需要量、维持代谢能需要量、代谢能维持利用效率。

表 6　妊娠母羊维持净能需要量预测方程

Table 6　Predicted formulations for net energy requirement of pregnant ewes

项目 Items	方程 Equations	R^2	*P* 值 *P*-value
妊娠 40 d 40 d of pregnancy	$\lg HP=(2.287\ 8\pm0.023\ 1)+[(0.000\ 58\pm0.000\ 04)\times MEI]$	0.905	<0.000 1
妊娠 100 d 100 d of pregnancy	$\lg HP=(2.388\ 4\pm0.024\ 1)+[(0.000\ 55\pm0.000\ 03)\times MEI]$	0.873	<0.000 1
妊娠 130 d 130 d of pregnancy	$\lg HP=(2.408\ 4\pm0.018\ 9)+[(0.000\ 56\pm0.000\ 04)\times MEI]$	0.817	<0.000 1

表 7　妊娠母羊能量需要量

Table 7　Energy requirement of pregnant ewes

项目 Items	维持净能 NEm/[kJ/（kg $W^{0.75}$·d）]	维持代谢能 MEm/[kJ/（kg $W^{0.75}$·d）]	代谢能维持利用效率 Maintenance utilization efficacy of ME
妊娠 40 d 40 d of pregnancy	194.01	283.18	0.685
妊娠 100 d 100 d of pregnancy	244.59	412.26	0.593
妊娠 130 d 130 d of pregnancy	256.08	468.56	0.547

3　讨　论

3.1　不同饲喂水平对妊娠母羊氮代谢的影响

饲粮中蛋白质水平可以通过动物机体对氮的消化吸收得到直观的认识。因此，常用氮代谢作为研究蛋白质需要的基础。彭津津等[19]采用不同饲喂水平对无角道赛特羊×小尾寒羊（道寒）杂交 F2 代氮平衡影响的研究表明，粪氮、尿氮、吸收氮、沉积氮随采食氮的增加而增加。Ludden 等[20]报道，随着饲粮粗蛋白质水平（13%～17%）的升高，羔羊的尿氮和沉积氮均显著上升。刘海斌等[21]认为食入氮、尿氮、可消化氮等指标均与饲粮中蛋白质水平呈正相关。本研究中，母羊粪氮、尿氮、沉积氮等指标与采食量水平呈正相关，与上述报道结果一致。本研究结果显示试验羊的粪氮、尿氮、吸收氮及沉积氮随着蛋白质摄入量的降低而降低，出现上述现象的原因很可能是由于营养限饲组试验羊蛋白质摄入量并不能满足母体及胚胎生长发育所需，从而引起氨基酸不平衡，食入氮只有满足母体自身生命活动所需，多余的蛋白质才会在机体内沉积。氮消化率随着限饲水平的升高而升高，70%Ad 组和 50%Ad 组氮消化率均高于 Ad 组,引起上述变化可能是由于采食量水平的降低，加速了瘤胃的排空速度，食糜在瘤胃内停留的时间减短，与瘤胃微生物及消化酶的作用时间也随之减短，导致饲料资源在动物体内的消化率降低。本研究还发现营养限饲和妊娠影响氮的代谢，随着饲喂水平的降低，粪氮、尿氮有所减少，但是沉积氮在妊娠 40、130 d 时 3 组间差异不显著，妊娠母羊具有较强储存营养物质能力，通过调控内源氮周转机制，可以一定程度调整氮的消化及

chinaXiv:201711.01399v1

chinaXiv:201711.01399v1

代谢，减少粪氮和尿氮排放量，有利于机体氮的沉积。

3.2　妊娠母羊维持净氮需要量

母羊妊娠期蛋白质的供给既要满足妊娠产物生长发育所需，也要为母体自身泌乳做准备，过低或过高的蛋白质水平都会降低母羊的繁殖性能。国内有不少关于妊娠期蛋白质需要量的报道。潘军等[22]根据蛋白质需要量计算公式，制订出内蒙古细毛羊妊娠后期营养标准，即体重在 40～70 kg，日增重在 172 g 情况下，蛋白质需要量为 145.92～225.72 g/（d•只）；高艳霞[23]研究小尾寒羊妊娠前期和妊娠后期瘤胃降解蛋白质和非降解蛋白质每日适宜量分别为 5.93、1.88 g/kg $W^{0.75}$ 和 5.55、2.37 g/kg $W^{0.75}$；赵广永等[24]利用多种方法求平均值得到妊娠期青山羊维持粗蛋白质需要量为 4.62 g/kg $W^{0.75}$，换算为可消化粗蛋白质其推荐值为 3.53 g/kg $W^{0.75}$。本研究根据消化代谢试验，利用食入氮和沉积氮之间建立线性回归关系，推算得出妊娠 40、100、130 d 维持净氮需要量分别为 287.9、301.3、430.7 mg/(kg $W^{0.75}$•d)。AFRC[25]推荐妊娠母羊维持净氮需要量为 350 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，该值在本研究结果的范围之内。王鹏[26]报道了道寒杂交公羔 20～35 kg 生长期维持净氮需要量为 270.5 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，本研究结果[287.9～430.7 mg/(kg $W^{0.75}$•d)]高于其研究值，可能由于品种、性别、妊娠等因素导致。聂海涛等[27]通过比较屠宰法得到 4～6 月龄杜湖杂交 F1 代母羔维持净氮需要量为 261 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，本研究结果高于其研究值，造成差异的原因是母羊妊娠使得乳腺不断发育和胎儿快速增长，动物体内的营养物质周转加快，蛋白质维持需要量不断提高。楼灿等[28]研究杜泊羊×小尾寒羊（杜寒）杂交母羊妊娠期 40、100、130 d 维持净氮需要量分别为 303.7、323.4、496.2 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，与本研究妊娠 40、100 d 结果相近；张少丰[29]研究萨福克羊×阿勒泰羊（萨阿）杂交母羊妊娠期维持净氮需要量为 415～733 mg/(kg $W^{0.75}$•d)，高于本研究结果，可能是由于杂交品种不同特性造成的差异；杨维仁等[30]根据蛋白质采食量（Y）和蛋白质沉积量(X)建立回归关系：Y=0.98X+3.46(r=0.90，P<0.01)，得到蛋白质维持需要量为 3.46 g/kg $W^{0.75}$，比本研究妊娠后期的蛋白质维持需要量高 21%，造成差异一方面可能由于品种及选育年龄差异导致，另一方面可能由于环境因素（温度和活动范围）的影响，羊只活动量减少，造成维持需要一定程度的降低。维持净氮需要量随妊娠期延长而不断增加，因此妊娠期饲粮的配制将随着妊娠阶段的不同而进行适时调整，进而促进繁殖母羊生产性能的提高。

3.3 妊娠母羊维持代谢能需要量

维持代谢能需要量是动物机体沉积能为零时所需要饲粮供给的代谢能量。由于动物品种、试验方法、试验环境等因素，维持代谢能需要量也有所不同。反刍动物妊娠期维持代谢能需要量研究在国内外都取得了很大的进展。Modyanov[31]测定了母羊不同妊娠时期的维持代谢能需要量，发现妊娠前期能量代谢的强度与空怀期母羊并无差别。Rattray 等[32]研究了空怀母羊维持代谢能需要量的范围为404.59～520.49 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)。本研究中，妊娠40、100、130 d维持代谢能需要量分别为283.18、412.26、468.56 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)，结果表明随妊娠期延长，妊娠强度不断增加，所需维持代谢能不断提高。杨诗兴[33]对中温区空怀母羊的能量代谢进行研究，测得维持代谢能需要量为273 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)，与本研究妊娠40 d结果接近，这也印证了妊娠前期、空怀期母羊的代谢强度并没有显著差别。楼灿[34]采用碳平衡法测得杜寒杂交母羊妊娠40、100、130 d维持代谢能需要量分别为331.61、427.07、498.16 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)，稍高于本研究结果，可能是品种和年龄造成的差异。杨在宾等[35]系统研究了青山羊妊娠前期、妊娠后期维持代谢能需要量分别为408.47、480.70 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)。柴巍中[36]通过呼吸面具测热法结合消化代谢试验研究了湖羊妊娠0～60 d、61～90 d、91～120 d、121～147 d维持代谢能需要量分别为432.58、437.52、461.70、458.40 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)，本研究结果妊娠前期维持代谢能需要量低于上述研究报道，后期与其接近，造成差异原因可能是所处环境与杂交品种特异性，造成维持代谢能在妊娠早期偏低。

3.4 妊娠母羊维持净能需要量和维持代谢能效率

维持净能需要量是动物进行一切生命活动的基础代谢。本研究中，杜湖杂交F1代母羊在妊娠期40、100、130 d维持净能需要量分别为194.01、244.59、256.08 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)。结果表明随着妊娠期延长，维持净能需要量逐渐增加，这可能是由于妊娠强度的不断增大使动物机体需要更多的能量来满足机体的基础代谢。代谢能维持利用效率（维持净能需要量/维持代谢能需要量）表示代谢能的维持利用效率，且受品种、生理状态、环境、研究方法等因素影响。本研究中，在妊娠40、100、130 d代谢能维持利用效率为别为0.685、0.593、0.547，表明随着妊娠期延长，代谢能维持利用效率逐渐降低，这可能和胎儿在妊娠后期的快速发育以及母体自身的营养储备有关，造成代谢能转化净能效率降低。本研究同样采用碳氮平衡法，比楼灿[34]以杜寒杂交羊为研究对象所得到的妊娠40、100、130 d的数值（0.619、0.577、0.527）

chinaXiv:201711.01399v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01399v1

分别高出 10.66%、2.77%、3.79%，排除方法学的影响，这些差异极可能是由于品种、胎数以及饲养环境不同所引起。

4 结 论

① 不同饲喂水平影响杜湖杂交 F1 代母羊妊娠期营养物质消化率，随着饲喂水平的降低，碳、氮、总能表观消化率逐渐升高。

② 杜湖杂交 F_1 代母羊妊娠 40、100、130 d 维持净蛋白质分别为 1.799、1.883、2.692 g/(kg $W^{0.75}$·d)。

③ 杜湖杂交 F_1 代母羊在妊娠 40、100、130 d 维持净能需要量分别为 194.01、244.59、252.55 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)；维持代谢能需要量分别为 283.18、412.26、468.56 kJ/(kg $W^{0.75}$·d)。

致谢：

感谢中国农业科学院饲料所楼灿硕士在试验思路及设计上的悉心指导，感谢南京农业大学动物科技学院聂海涛、张浩博士对文稿提出的宝贵意见。

参考文献:

[1] 杨凤.动物营养学[M].2 版.北京:中国农业出版社,1993.

[2] AFRC.Energy and protein requirements of ruminants:an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients[S].Wallingford:CAB International,1993.

[3] CSIRO.Nutrient requirements of domesticated ruminants[S].Collingwood,Autralia:Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation,2007.

[4] CSIRO.Feeding standards for Australian livestock:ruminants[S].East Melbourn:Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization,1990.

[5] NRC.Nutrient requirements of sheep[S].Washington,D.C.:National Academies Press,1985.

[6] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2007.

[7] 杨诗兴,彭大惠,张文远,等.湖羊能量与蛋白质需要量的研究[J].中国农业科学,1988,21(2):73–80.

ChinaXiv合作期刊

[8] 张崇玉,师校军,李凤双.青山羊种公羊能量需要量的研究[J].动物营养学报,1993,5(2):48–53.

[9] 刘洁,刁其玉,邓凯东,等.肉用羊营养需要及研究方法研究进展[J].中国草食动物,2010,30(3):67–70.

[10] 聂海涛,王子玉,应诗家,等.采食量水平对杜湖 F_1 代羊肉品质的影响[J].江苏农业科学,2012,40(1):179–181.

[11] DENG K D,DIAO Q Y,JIANG C G,et al.Energy requirements for maintenance and growth of Dorper crossbred ram lambs[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):102–110.

[12] 刘洁,刁其玉,赵一广,等.肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J].畜牧兽医学报,2012,43(8):1230–1238.

[13] 杨嘉实,冯仰廉.畜禽能量代谢[M].北京:中国农业出版社,2004.

[14] 楼灿,邓凯东,姜成钢,等.饲养水平对肉用绵羊空怀期和哺乳期能量代谢平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(5):988–997.

[15] MCDONALD P,EDWARDS R A,GREENHALGH J F D.Animal nutrition[M].3rd ed.New York:Longman,1981.

[16] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.

[17] INRA.Ruminant nutrition:recommended allowances and feed tables[M].Paris:John Libbey & Co.Ltd.,1989.

[18] DENG K D,DIAO Q Y,JIANG C G,et al.Energy requirements for maintenance and growth of German mutton merino crossbred lambs[J].Journal of Integrative Agriculture,2013,12(4):670–677.

[19] 彭津津,张英杰,刘月琴,等.道寒杂交公羊育肥期能量需要量研究[J].中国农业科学,2013,46(23):5066–5074.

[20] LUDDEN P A,WECHTER T L,HESS B W.Effects of oscillating dietary protein on nutrient digestibility,nitrogen metabolism,and gastrointestinal organ mass in sheep[J].Journal of Animal Science,2002,80(11):3021–3026.

[21] 刘海斌,胡锐,蔡凤坤,等.蛋白水平对舍饲辽宁绒山羊产绒性能及消化代谢的影响[J].

chinaXiv:201711.01399v1

chinaXiv:201711.01399v1

吉林农业大学学报,2010,32(1):89–94.

[22] 潘军,王文元,赵志恭,等.内蒙古細毛羊妊娠后期(90—150 天)母羊能量和蛋白质需要量的研究[J].内蒙古农牧学院学报,1989,10(2):17–30.

[23] 高艳霞.小尾寒羊妊娠及泌乳期日粮能量和蛋白质适宜供给量的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2003:21–35.

[24] 赵广永,李凤双,方国玺.妊娠青山羊蛋白质需要的研究[J].动物营养学报,1994,6(2):39–44.

[25] AFRC.Energy and protein requirements of ruminants:an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on response to nutrients[S].Wallingford:Commonweath Agricultural Bureaux International,1993.

[26] 王鹏.肉用公羔生长期(20~35 kg)能量和蛋白质需要量研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2011:21–22.

[27] 聂海涛,肖慎华,兰山,等.4～6 月龄杜湖羊杂交 F_1 代母羔净蛋白质需要量[J].动物营养学报,2015,27(1):93–102.

[28] 楼灿,姜成钢,马涛,等.杜寒杂交繁殖母羊氮代谢和维持净蛋白质需要的研究[J].畜牧兽医学报,2014,45(6):943–952.

[29] 张少丰.肉用绵羊妊娠期和哺乳期能量及蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2015:24–29.

[30] 杨维仁,杨在宾,李凤双,等.大尾寒羊妊娠期蛋白质维持需要量及代谢规律的研究[J].山东农业大学学报,1997,28(3):289–292.

[31] MODYANOV A V.Energy metabolism of sheep under different physiological conditions[M]/BLAXTER K L,KIELANOWSKI W,THORBECK G.Energy metabolism of farm animals.Newcastle Upon Tyne:Oriel Press,1969:171–176.

[32] RATTRAY P V,GARRETT W N,EAST N E,et al.Efficiency of utilization of metabolizable energy during pregnancy and the energy requirements for pregnancy in sheep[J].Journal of Animal Science,1974,38(2):383–393.

[33] 杨诗兴.绵羊能量代谢的总结与展望[J].中国动物营养研究进展,1992:417–420.

[34] 楼灿.杜寒杂交肉用绵羊妊娠期和哺乳期能量和蛋白质需要量的研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014:49–64.

[35] 杨在宾,杨维仁,张崇玉,等.青山羊能量和蛋白质代谢规律研究[J].中国养羊,1997(2):17-18.

[36] 柴巍中.湖羊妊娠期维持代谢能需要量的测定[J].中国畜牧杂志,1990(1):8-10.

Energy and Protein Requirements for Maintenance of Doper Sheep and *Hu* Sheep Hybrid F1 Ewes during Pregnancy

MA Tiewei NIE Haitao ZHANG Hao JI Yu WANG Zhen DENG Kaiping WANG Feng*

（*Nanjing Agricultural University, Jiangsu Engineering Technology Research Center of Mutton Sheep & Goat Industry, Nanjing* 210095, China）

Abstract: The aim of this study was to determine the energy and protein requirements for maintenance of Dorper and *Hu* hybrid F1 ewes during pregnancy and to provide data for formulating diet for the mutton sheep. The experiment consisted of feeding experiment, digestion metabolism experiment and respirometary experiment. Fifteen sheep with body weight of (43.34±1.37) kg at the age of nine months were used. After the treatments of synchronization of estrus and free mating, the sheep were assigned randomly into three groups with five ewes in each group, which were ad libitum (Ad) group, 70% Ad group and 50% Ad group. Feces and urine were collected using total feces collection method on 40, 100 and 130 days of pregnancy; meanwhile, respirometary experiment was conducted, and metabolic parameters of nitrogen and energy at different periods of pregnancy were calculated; finally the requirements of net nitrogen, net energy and metabolic energy for maintenance of the cross combination during pregnancy were calculated by establishing the allometric regressions respectively between nitrogen intake and nitrogen retention, the logarithm of heat production and metabolizable energy intake according to the results of digestion metabolism experiment and respirometary experiment. The results showed as follows: 1) the apparent digestibility of nitrogen on 40, 100 and 130 days of pregnancy were 56.16% to 62.24%, 60.43% to 65.47%, and 58.79% to 62.01%, respectively. 2) The apparent

chinaXiv:201711.01399v1

ChinaXiv合作期刊

digestibility of gross energy on 40, 100 and 130 days of pregnancy were 51.18% to 64.25%, 60.86% to 66.17%, and 63.20%～67.36%, respectively. 3) Requirements of net nitrogen, net energy and metabolic energy for maintenance of this breed on 40, 100 and 130 days of pregnancy were 287.9, 301.3 and 430.7 mg/（kg $W^{0.75}$•d）, 194.01, 244.59 and 256.08 kJ/(kg $W^{0.75}$·d), and 283.18, 412.26 and 468.56 kJ/(kg $W^{0.75}$·d), respectively. The research defines the energy and protein requirement parameters for Dorper sheep and *Hu* sheep hybrid F1 ewes during pregnancy, including net energy, metabolizable energy and net nitrogen for maintenance.

Key words: pregnant period; Dorper sheep and *Hu* sheep hybrid F1 ewe; energy; protein; requirement

*Corresponding author, professor, E-mail: caeet@njau.edu.cn (责任编辑　王智航)

chinaXiv:201711.01399v1